

A matrix method for the electrical design of overhead power transmission lines

Ivaylo Soyanov

Матричен метод за оразмеряване на въздушни електропроводни линии

Ивайло Стоянов

Abstract: In the study has been performed the matrix methods in AC power system analysis. The block diagram of the algorithm to load-flow analysis for effectively design overhead power lines is presented. It gives you an opportunity to have a reliable planning of electric power distribution.

Key words: Overhead Power Transmission Lines, Method, Transmission Network, AC Power System Analysis.

ВЪВЕДЕНИЕ

Един от основните проблеми при оразмеряване на неизолирани проводници за въздушни електропроводни линии е сравнително големият обем на извършваните изчисления [1, 3, 4, 5]. Коректното оразмеряване е съществена предпоставка за надеждно електроснабдяване и на основните характеристики на напрежението при нормални условия. Най-голямо приложение са намерили класическите методи за електрическо оразмеряване на електропроводни линии по различни критерии. В резултат са разработени и приложени по-сложни и по-ефективни системи за електрозахранване [2]. Съвременните електрически мрежи се характеризират с голям брой компоненти, а така също и връзки между отделните електропроводи и подсистеми на различни нива на напрежение. Следователно проектирането на електрическите мрежи включва голямо разнообразие от аналитични задачи, като например натоварване по ток, късо съединение, мощност и анализи за устойчивост. За тази цел са необходими специални инструменти за автоматизирано проектиране.

Основаната задача на настоящия доклад е да се направи анализ на възможността за използване на матричен метод за оразмеряване на въздушни електропроводни линии високо напрежение 110 kV. Решаването на матриците най-често се извършва чрез тяхното преобразуване с помощта на елементарни матрични операции в подходяща форма (единични, транспонирани, диагонални матрици и др.). Това дава възможност за съкращаване на математичните операции и бързо намиране на решение на поставената задача.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Структурните матрици представляват средство за трансформиране на топологичните структури, изобразени чрез графите, в алгебрични изрази и системи уравнения за анализ на процесите в електрическите вериги. Употребяват се три основни типа структурни матрици: възлова (съединителна) матрица В; матрица на сеченията С и матрица на клоновете К.

Възловата матрица В представлява таблица с елементи +1, -1 и 0, които съответстват на коефициентите в уравненията, записани по първия закон на Кирхоф. За произволна електрическа схема възловата матрица се съставя в следната последователност:

1. Чертае се насоченият граф на схемата като се номерират възлите и клоновете съответно от 1 до n и от 1 до m .
2. Ненасоченият граф се трансформира в насочен.
3. Съставя се матрица (таблица) с n реда (за възлите) и m клона (за

клоновете). На елементите на матрицата се присвояват стойности +1 или -1, когато пресечната точка на ред с колона съответният за колоната клон на графа има връзка с възела, на който съответства редът. При липса на такава връзка на елементите се присвоява стойност нула. Когато клонът има посока на излизане от възела, на елементите се присвоява стойност +1, в обратния случай - стойност -1.

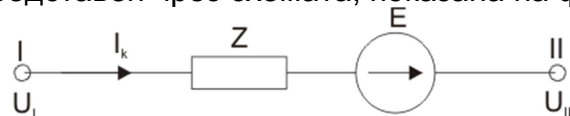
Матрица на сеченията C представлява таблица с елементи +1, -1 или 0. В общия случай нейният размер е $(n-1) \times m$. Съставянето на матрицата C се извършва в следната последователност:

1. Чертае се насоченият граф на веригата и се номерират клоновете.
2. Означават се главните сечения и се номерират.
3. Съставя се матрица (таблица) в общия случай за графа с m клона и n възела с размер $(n-1) \times m$, редовете на която съответстват на сеченията, а стълбовете - на всички m клона на веригата.
4. На елементите на матрицата се присвояват стойности (+1, -1) или 0.

Клоновата матрица K представлява таблица с елементи +1, -1 или 0, които съответстват на коефициентите в уравненията за схемата на електрическата верига, записани по втори закон на Кирхоф. Съставянето на матрицата K се извършва в следния ред:

1. Чертае се насоченият граф на схемата.
2. Избират се магистрала.
3. Съставя се матрицата-таблица, която при граф с m клона и n възела съдържа $k = m - (n - 1)$ реда (колкото е броят на главните клонове) и m колони.
4. На елементите на матрицата K се присвояват стойности +1, -1 или 0.

Съгласно горните разсъждения всеки един участък (клон) от една електрическа мрежа може да бъде представен чрез схемата, показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Опростена заместваща схема

За напрежението в дадения участък е

$$U_k = U_I - U_{II} = Z \cdot I_k - E. \quad (1)$$

За общия случай

$$U_{km} = Z_m \cdot I_{km} - E_m, \quad (2)$$

където $Z_m \cdot I_{km} = U_{zm}$ е падът на напрежението, V .

В матричен вид записът на изразите е:

$$U_k = U_Z - E; \quad U_Z = Z \cdot I_k, \quad (3)$$

където U_Z е падът на напрежението в клоната;

Z – матрицата на съпротивленията;

I_k – векторът на тока в клоновете;

E - векторът на е.д.н.

Следователно за електрическа мрежа с шест клона може да се запише

$$U_Z = Z I_k = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} & Z_{16} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} & Z_{26} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} & Z_{36} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} & Z_{46} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} & Z_{56} \\ Z_{61} & Z_{62} & Z_{63} & Z_{64} & Z_{65} & Z_{66} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}, \text{ т.е.} \quad (4)$$

$$U_Z = \begin{bmatrix} Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + Z_{14}I_4 + Z_{15}I_5 + Z_{16}I_6 \\ Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + Z_{24}I_4 + Z_{25}I_5 + Z_{26}I_6 \\ Z_{31}I_1 + Z_{32}I_2 + Z_{33}I_3 + Z_{34}I_4 + Z_{35}I_5 + Z_{36}I_6 \\ Z_{41}I_1 + Z_{42}I_2 + Z_{43}I_3 + Z_{44}I_4 + Z_{45}I_5 + Z_{46}I_6 \\ Z_{51}I_1 + Z_{52}I_2 + Z_{53}I_3 + Z_{54}I_4 + Z_{55}I_5 + Z_{56}I_6 \\ Z_{61}I_1 + Z_{62}I_2 + Z_{63}I_3 + Z_{64}I_4 + Z_{65}I_5 + Z_{66}I_6 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

От (5) се вижда, че по диагонала на матрицата са разположени пълните съпротивления на всеки клон Z_1, Z_2, \dots, Z_6 . Ако се пренебрегнат останалите взаимни съпротивления, то за матрицата на съпротивленията на клоновете може да се запише

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 & & & & & \\ & Z_2 & & & & \\ & & Z_3 & & & \\ & & & Z_4 & & \\ & & & & Z_5 & \\ & & & & & Z_6 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

При отсъствие на е.д.н. в клоновете, то

$$U_k = U_Z, \quad (7)$$

или

$$U_k = Z \cdot I_k. \quad (8)$$

Ако се умножи (8) с Z^{-1} , то за тока са получава

$$I_k = Z^{-1} \cdot U_k. \quad (9)$$

От първи Закон на Кирхов за възловата матрица B може да се запише:

$$B \cdot I_k = j, \quad (10)$$

където j е векторът на тока.

От (10) и (9) следва, че

$$M \cdot Z^{-1} \cdot M_t = Y_\Delta, \quad (11)$$

където M_t е транспонираната възлова матрица;

Y_Δ е възловата матрицата на проводимостта.

На фиг. 2 показан алгоритъм за изчисление на токовете в сложни мрежи чрез матричния метод.



Фиг. 2. Алгоритъм за изчисляване на токовете и мощностите с помощта на матричния метод

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан е практически метод за оразмеряване на въздушни електропроводни линии на базата на структурни матрици и връзките между тях. Предложен е алгоритъм за автоматизиране на изчисленията с помощта на компютър. Разработката може да послужи като добра база за създаване на лабораторно упражнение по дисциплината „Електрически мрежи и системи“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Генков, Н. В. Захариев. Електрически мрежи. Издателска къща СИЕЛА, София, 1999, 250 с., ISBN 954-649-205-1.
- [2] Господинов, В., К. Боев, Ст. Гишин. Изследване и анализ на електрическите схеми и съоръжения за обект с висока категория на електрозахранването. Сборник от III Научна конференция ЕФ 2011, Технически университет – София, София, 2011, стр. 40-45.
- [3] Идельчик В. И., Электрические сети и системы. Энергоатомиздат, Москва, 1989, 592 с., ISBN 5-283-01022-0.
- [4] Неделчева, Ст. Електрически мрежи. Технически университет – София, 2005, 298 с., ISBN 954-438-488-X.
- [5] Farzaneh, M., S. Farokhi, W. Chisholm. **Electrical Design of Overhead Power Transmission Lines**. Publisher: McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2013, p.560, ISBN: 9780071771917.

За контакти:

Ивайло Стоянов, доц. д-р инж. - катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ към Русенски университет „Ангел Кънчев“,
e-mail: stoyanov@uni-ruse.bg.